

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

First Named
Inventor : Emmanuel Cadic et al.

Appln. No. : 10/811,487

Filed : March 26, 2004

For : ERROR CORRECTION CODING
METHOD USING AT LEAST TWICE
A SAME ELEMENTARY CODE,
CODING METHOD,
CORRESPONDING CODING AND
DECODING DEVICE

Docket No.: F40.12-0025

Group Art Unit: 2133

Examiner:

**CLAIM OF PRIORITY AND TRANSMITTAL OF
CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER IS
BEING SENT BY U.S. MAIL, FIRST CLASS,
TO THE COMMISSIONER FOR PATENTS,
P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA 22313-
1450, THIS

6 DAY OF December, 2004
D. D. Brush
PATENT ATTORNEY

Sir:

Applicant claims right of priority under the provisions
of 35 USC § 119 based on French Patent Application No. FR 03
03989, filed March 31, 2003.

A certified copy of this application is enclosed. This
priority application is identified in the Declaration filed
December 6, 2004.

Applicant requests that priority be granted on the
basis of this application.

Respectfully submitted,
WESTMAN, CHAMPLIN & KELLY, P.A.

By: *D. D. Brush*
David D. Brush, Reg. No. 34,557
Suite 1600 - International Centre
900 Second Avenue South
Minneapolis, Minnesota 55402-3319
Phone: (612) 334-3222 Fax: (612) 334-3312

DDB:tkj



THIS PAGE BLANK (USPTO)

BREVET D'INVENTION

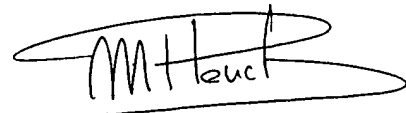
CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 22 AVR. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets



Martine PLANCHE

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

THIS PAGE BLANK (USPTO)



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2

BR1

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 • R / 210502

REMISE DES PIÈCES DATE 31.03.2003 LIEU IS INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0303989 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 31 MARS 2003 PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Cabinet Patrice VIDON Le Nobel - Technopôle Atalante 2, allée antoine becquere BP 90333 35 703 RENNES CEDEX 7	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 8817			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input checked="" type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie 0303989	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date _____ N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé de codage correcteur d'erreur utilisant au moins deux fois un même code élémentaire, procédé de codage, dispositifs de codage et de décodage correspondants.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		FRANCE TELECOM	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège	Rue	6, Place d'Alleray	
	Code postal et ville	75 015 PARIS	
	Pays	FRANCE	
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2^{ème} page



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES DATE 31.03.2003 LIEU XS INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 03 03989 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)			
Nom		VIDON	
Prénom		Patrice	
Cabinet ou Société		Cabinet Patrice VIDON	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	Le Nobel - Technopôle Atalante 2, allée antoine becquerel - BP 90333	
	Code postal et ville	35 17 10 13 RENNES CEDEX 7	
	Pays	FRANCE	
N° de téléphone (facultatif)		02 99 38 23 00	
N° de télécopie (facultatif)		02 99 36 02 00	
Adresse électronique (facultatif)		vidon@vidon.com	
7 INVENTEUR (S)		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG [] [] [] [] [] [] [] [] [] []	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/>	
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes			
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
P. VIDON (Mandataire CPI n° 92 1250)			

Procédé de codage correcteur d'erreur utilisant au moins deux fois un même code élémentaire, procédé de codage, dispositifs de codage et de décodage correspondants.

Le domaine de l'invention est celui des communications numériques.

5 Plus précisément, l'invention concerne les codes correcteurs d'erreurs. L'invention concerne notamment, mais non exclusivement, les codes connus sous le nom de « turbo-code ».

L'invention peut trouver des applications dans tous les domaines où il est nécessaire, ou tout du moins souhaitable, de disposer d'un code correcteur
10 d'erreur. Ainsi, l'invention peut par exemple s'appliquer :

- à la protection contre des erreurs dues aux bruits et interférences inhérents aux canaux physiques de transmissions (codage correcteur d'erreurs classiques et codes spatio-temporels pour les systèmes multi-antennes);
- 15 - la compression de signaux issus de sources d'informations : images, sons, signaux, données;
- la protection contre les erreurs pour le stockage des données sur des mémoires de masse, telles que les disques d'ordinateurs ou les micro-processeurs.

20 De nombreuses techniques de codage permettant la correction d'erreurs sont déjà connues. Les premières études sur le sujet remontent aux années 1940. C'est à cette époque que Shannon a fondé la théorie de l'information actuellement encore utilisée. De nombreuses familles de codage ont ensuite été proposées.

25 On connaît ainsi les codes convolutifs (qui peuvent notamment mettre en œuvre des codages en treillis, selon l'algorithme Viterbi), ou encore le schéma de codage couramment désigné sous le terme « turbo-code », proposé en 1993 par C. Berrou et A. Glavieux, par exemple dans l'article « Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo-Codes »
30 (proofreadings of the ICC'93, mai 1993, p.1064 à 1070).

Cette technique a fait l'objet de nombreuses études et améliorations.

On connaît également la famille de codes connue sous le nom de codes LDPC.

5 Les turbo-codes et les codes LDPC, et plus généralement tous les codes concaténés, offrent des performances en termes de correction qui sont remarquables, pour de grandes tailles de blocs, et notamment des blocs d'au moins quelques milliers ou dizaines de milliers de bits d'information.

10 Malheureusement, la manipulation de tels blocs de bits d'informations présente une forte complexité de calcul au décodage, qui ne s'avère en pratique compatible qu'avec des micro-processeurs à grosse capacité de calcul qui s'avèrent en conséquence relativement coûteux.

De plus, ces structures sont en revanche peu performantes en correction d'erreurs pour des blocs de petites tailles, par exemple de l'ordre de la centaine ou du millier de bits.

15 Il existe cependant actuellement dans le domaine des transmissions numériques une très forte demande pour les communications par petits paquets, ce qui suppose la mise en œuvre de codes de petites longueurs.

L'invention a notamment pour objectif d'apporter une solution à ce besoin et de pallier les inconvénients des techniques antérieures.

20 Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de codage correcteur d'erreurs, notamment du type « turbo-code », permettant de réduire la complexité du décodage.

25 En d'autres termes, l'invention a pour objectif de fournir une telle technique de codage, qui permette la réalisation de décodeur simplifié, et donc à coût réduit, sans bien sûr dégrader la qualité de la correction des erreurs.

Un autre objectif de l'invention est de fournir une telle technique de codage, qui soit bien adaptée à la correction d'erreur pour des blocs de petites tailles.

30 En d'autres termes, un autre objectif de l'invention est de fournir une

telle technique, offrant de bonnes distances minimales, malgré de petites tailles de blocs.

Encore un autre objectif de l'invention est de fournir une telle technique, qui permette de réaliser le codage et le décodage de façon simple, et pouvant en conséquence être aisément implanté.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront plus clairement par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de codage correcteur d'erreur, selon lequel on utilise au moins deux sections distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3), en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3), définissant un mot de code, deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.

Un code ainsi constitué est très simple, puisqu'il est formé à partir de briques de base de très faibles taille et complexité (qui peuvent le cas échéant être réalisées en analogique, de façon câblée), et cependant très efficace. Comme on le verra par la suite, il permet notamment de reproduire des codes connus en soi, mais sous une forme très simplifiée.

Plus précisément, l'invention permet d'obtenir une diminution de la complexité d'un rapport au moins 2 (notamment par l'utilisation de treillis à faible nombre d'états, en l'occurrence un minimum de 4 pour les codes binaires, comme expliqué par la suite) par rapport à l'état de l'art existant pour une même capacité de correction.

En outre, ces codes binaires de petites longueurs construits avec ces treillis peuvent avoir de très bonnes distances minimales, d'où une capacité à corriger plus d'erreurs que les « turbo-codes » actuels malgré de petites tailles de bloc et des treillis avec seulement 4 états dans le cas binaire.

De façon préférentielle, les mots de code dudit code élémentaire ont subi un partitionnement en quatre paquets (s_0, s_1), (s_2, s_3), (b_0, b_1), (b_2, b_3) tel que chaque mot de code, à l'exception du mot de code nul, comprend au

moins trois paquets sur quatre allumés, un paquet étant dit allumé lorsqu'il comprend au moins un bit valant 1.

Cela permet la propagation de « 1 », et ainsi d'augmenter la distance du code.

5 Avantageusement, lesdites sections de code élémentaire sont associées en séquence de façon à former au moins un treillis de codage. Un choix judicieux des séquences d'étages (sections) formant ce treillis permet d'optimiser la capacité de correction d'erreurs.

10 Selon un mode de réalisation avantageux, le ou lesdits treillis sont cycliques.

Cela permet d'optimiser les capacités de correction et d'uniformiser le niveau de protection entre les bits d'information.

15 Dans ce cas, on conserve avantageusement comme résultat de codage celui qui présente un état d'arrivée identique à son état d'arrivée, parmi tous les états de départ possible pour l'une desdites sections de code élémentaire, choisie comme section de départ.

De façon avantageuse, le procédé de codage de l'invention comprend deux treillis, dans lesquels les données source à coder sont entrées dans des ordres différents.

20 Selon un mode de réalisation préférentiel, ledit résultat de codage est l'ensemble des éléments d'information et de redondance délivrés par le ou lesdits treillis.

On peut avantageusement appliquer un poinçonnage sur lesdits éléments formant le résultat de codage.

25 De même, selon un aspect particulier de l'invention, on peut prévoir qu'au moins une desdites sections est poinçonnée. Préférentiellement, on utilise au moins une section poinçonnée à gauche et au moins une section poinçonnée à droite.

30 Selon un mode de réalisation préférentiel de l'invention, on duplique au moins une fois le ou lesdits treillis, pour disposer d'au moins deux

ensembles de codage interconnectés via des moyens de permutation.

Dans ce cas, les données à coder peuvent avantageusement être transmises à chacun desdits ensembles de codage, préférentiellement de façon décalée.

5 Selon une première approche de l'invention, lesdits vecteurs sont constitués d'éléments binaires. Dans ce cas, ledit code élémentaire est avantageusement un code de Hamming [8, 4, 4].

Le procédé de codage peut dans ce cas mettre en œuvre les sections suivantes :

- 10
- $H_\alpha : (y_0, y_1, x_0, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\beta : (x_0, x_1, y_0, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\gamma : (x_0, y_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\delta : (y_0, x_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\epsilon : (y_0, x_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - 15 • $H_\phi : (x_0, y_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$

Avantageusement, il utilise en outre les sections poinçonnées suivantes :

- $H^g : (*, *, x_0, x_1) \rightarrow (*, *, b_2, b_3)$
- $H^d : (x_0, x_1, *, *) \rightarrow (b_0, b_1, *, *)$

20 Selon un mode de réalisation particulier, le codage comprend trois ensembles de codage recevant chacun 12 bits de codage via respectivement une permutation identité, une permutation à décalage cyclique de 4 bits et une permutation à décalage cyclique de 4 bits.

25 Dans ce cas, lesdits ensembles de codage sont avantageusement organisés de façon à produire un code de Golay [24, 12, 8].

Selon une autre approche avantageuse, lesdits vecteurs sont constitués de mots de base pouvant prendre 4 valeurs. Dans ce cas, ledit code élémentaire est avantageusement un code de Nordstrom-Robinson de paramètres [8, 4, 6].

30 Selon encore une autre approche avantageuse de l'invention, lesdits

vecteurs sont constitués de mots de base pouvant prendre 8 valeurs. Alors, ledit code élémentaire peut notamment être un code $M[8, 4]$.

Selon un aspect préférentiel de l'invention, le code ainsi obtenu est du type « turbo-code ».

5 L'invention concerne également les dispositifs de codage correcteur d'erreur mettant en œuvre un tel procédé de codage.

L'invention concerne encore les dispositifs et procédés de décodage correspondants.

10 Un tel procédé met en œuvre des étapes symétriques de celles mises en œuvre au codage. Ainsi, on utilise au moins deux sections distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3), en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3), deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.

15 De façon préférentielle ledit procédé de décodage est itératif.

Avantageusement, à chacune des itérations, on calcule des probabilités a posteriori sur des métriques associés à au moins un treillis défini à l'aide desdites sections de code élémentaire, et on interrompt lesdites itérations
20 lorsqu'on obtient un résultat stable et/ou après un nombre prédéterminé d'itérations.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de modes de réalisations de l'invention, donnés à titre de simples exemples illustratifs et non limitatifs, et des figures
25 annexées parmi lesquelles:

- la figure 1 présente la section de base d'un code élémentaire utilisé selon un premier mode de réalisation de l'invention, et le graphe de Tanner correspondant ;
- la figure 2 est un exemple de turbo-code parallèle construit à l'aide
30 de la section selon la figure 1 ;

- la figure 3 est un autre exemple de treillis construit à l'aide de la section de la figure 1;
- la figure 4 présente un turbo-code parallèle à trois permutations utilisant un code selon le treillis de la figure 3;
- 5 – les figures 5a à 5e sont des courbes de taux d'erreurs binaires pour différents types de codes et différents nombres d'itérations;
- la figure 6 est une comparaison des résultats de décodage de la technique de l'invention avec trois autres techniques de l'art antérieur;
- 10 – la figure 7 est un graphe de Tanner pour un code à section de base à 16 états;
- la figure 8 présente un graphe de Tanner pour un code à section de base à 64 états.

1) Principes généraux de l'invention :

15 Comme déjà mentionné, l'objectif de l'invention est de fournir des codes, notamment des « turbo-codes », dont la complexité de décodage est moindre, par rapport aux techniques connues, tout en garantissant de bonnes capacités de correction d'erreurs, même pour de petites tailles de blocs.

20 Comme on le verra par la suite l'invention permet d'obtenir une diminution de la complexité d'un rapport au moins égal à 2, notamment en utilisant des treillis à faible nombre d'états (en l'occurrence un minimum de 4 états pour les codes binaires) par rapport aux techniques connues, pour une même capacité de correction.

25 Par ailleurs, les codes de petites longueurs construits avec ces treillis ont de très bonnes distances minimales, d'où une capacité à corriger plus d'erreurs que les « turbo-codes » actuels, malgré cette petite taille de blocs et des treillis.

30 Dans le cas des codes binaires, un élément technique important de l'invention est l'utilisation d'étages de treillis à 4 états dérivés d'une section de base. Dans le mode de réalisation décrit par la suite (paragraphe 2) cette

section est appelée "H", et représente le code de Hamming étendu, de paramètres [8,4,4].

La simplicité et la performance des turbo-codes obtenus selon l'invention découle du fait que ce petit code est unique, et qu'il présente une
5 longueur de 8 bits, pour 4 bits d'information utile, et une distance minimale entre les mots de codes égale à 4.

Les sections, ou étages, de treillis sont dérivées de la section de base, en changeant l'ordre et le rôle (entrée ou sortie) des bits d'étiquettes de branches.

10 Un autre aspect important est que les petits codes de base pris pour construire les étages de base sont partitionnés, selon une approche non triviale, en 4 paquets de bits, la partition étant telle que tout les mots de codes non nuls ont toujours au moins 3 paquets sur 4 non nuls, c'est-à-dire qu'il ont au moins 1 bit non nul par paquet. On dit par la suite que l'on a toujours au
15 moins 3 paquets sur 4 "allumés", un paquet étant allumé lorsqu'au moins 1 bit est non nul.

Dans le cas cité précédemment du code de Hamming {8,4,4}, les quatre paquets sont composés de 2 bits.

Selon l'invention, chaque treillis est donc vu comme une séquence
20 d'étages différents (ou non) dérivés d'une section de base. Un choix judicieux de ces séquences permet d'optimiser la capacité de correction d'erreurs.

De façon préférentielle, les treillis ainsi obtenus sont cycliques (ou "tail-biting" en anglais), ce qui permet d'optimiser les capacités de corrections d'erreurs, et d'uniformiser le niveau de protection entre les bits d'informations.

25 Pour les codes sur l'anneau Z_4 (qui est l'ensemble $\{0,1,2,3\}$ muni de l'addition et de la multiplication modulo 4), on peut notamment utiliser un code équivalent ou code Nordstrom-Robinson de paramètres {8,4,6}, avec la distance de Lee (voir paragraphe 3).

On obtient alors des treillis à 16 états.

30 De même, on peut réaliser des codes sur Z_8 et Z_{16} , en utilisant deux

autres petits codes performants, pour obtenir respectivement des étages à 64 et 256 états (voir paragraphe 4).

Ces codes sur Z4 (respectivement Z8) peuvent notamment permettre de construire des modulations codées MDP4 (modulation de phase à 4 points),
 5 (respectivement MDP8, MDP16 ou MAQ16(modulation d'amplitude en quadrature à 16 points)) extrêmement performante.

Sur Z4, on peut ainsi, avec une faible complexité, s'étendre à des modulations codées MDP16 ou MAQ16. De même, dans l'ensemble Z8 on pourra s'étendre à une modulation MAQ64.

10 En effet, on peut décomposer une modulation MDP4 en deux modulations MDP2, ou une modulation MAQ16 en deux modulations MDP4, une modulation MAQ32 en un produit d'une modulation MAQ8 et d'une modulation MDP4, une modulation MAQ64 en deux modulations MDP8, ou encore une modulation MAQ256 en deux modulations MDP16...

15 Les treillis réalisés sur Z4 ou Z8 sont donc de bonnes briques de bases, de faible complexité, pour construire à coût réduit des modulateurs-codeurs de très grandes performances, et se décodant plus facilement.

2) Sections de base à 4 états pour « turbo-codes » binaires

20 **a) sections de treillis de base non-poinçonnées à 4 états pour « turbo-codes » binaires**

La section « H » de treillis de base décrit les mots du code de Hamming[8,4,4] qui a pour matrice génératrice G_H telle que :

$$G_H = [I_4 \quad P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

25 La section H, illustrée par la figure 1, représente l'ensemble des mots de code du code de Hamming[8,4,4] sous la forme d'un ensemble de chemins des états de départ (s_0, s_1) vers les états d'arrivée (s_2, s_3) en passant par les branches d'étiquettes (b_0, b_1, b_2, b_3) .



Les vecteurs d'état et d'étiquettes sont reliés par l'équation matricielle: $(s_0, s_1, s_2, s_3) = (b_0, b_1, b_2, b_3) \cdot P$.

Les étiquettes sont énumérées de façon classique : en face de chaque état de départ et dans l'ordre 00,01,10,11 des états d'arrivée associés. A droite de la section est représenté le graphe de Tanner de cette section.

Le code de Hamming[8,4,4] est partitionné en 4 paquets (s_0, s_1) , (s_2, s_3) , (b_0, b_1) et (b_2, b_3) avec la distribution de paquets de 2 bits « allumés » suivante :

- 1 mot avec 0 paquet sur 4 allumé (le mot nul),
- 12 mots avec 3 paquets sur 4 allumés soit 75% des mots du code,
- 3 mots avec 4 paquets sur 4 allumés soit 18.75% des mots du code.

Cette propriété locale de « (au moins) 3 paquets sur 4 allumés » permet d'imposer que, globalement, le graphe de Tanner du code concaténé ne puisse contenir des sous-graphes d'états non-nuls de taille trop petite, et donc d'obtenir de bonnes distances minimales.

Les 6 sections non-poinçonnées dérivées de la section H sont appelées $H_\alpha, H_\beta, H_\delta, H_\gamma, H_\epsilon, H_\phi$ et leurs bits d'information (x_0, x_1) et de redondance (y_0, y_1) correspondent respectivement aux bits (b_0, b_1, b_2, b_3) tels que:

- $H_\alpha : (y_0, y_1, x_0, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
- $H_\beta : (x_0, x_1, y_0, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
- $H_\gamma : (x_0, y_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
- $H_\delta : (y_0, x_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
- $H_\epsilon : (y_0, x_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
- $H_\phi : (x_0, y_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$

Le fait d'utiliser un bit d'étiquette soit comme une entrée (bit d'information) ou une sortie (bit de redondance) dans la section H change complètement la fonction booléenne. On obtient ainsi une grande variété de choix de treillis (et donc de codes), un treillis correspondant une séquence de

sections, comme illustré par la figure 2.

La figure 2 donne en effet un exemple de « turbo-code » parallèle à 1 permutation comprenant deux treillis cycliques « tail-biting » construits avec les sections listées ci-dessus.

5 b) sections de treillis de base poinçonnées à 4 états pour « turbo-codes » binaires

On peut utiliser des sections de base poinçonnées.

Les sections de base poinçonnées sont également construites en partant de la section de base H en poinçonnant par exemple deux bits à gauche ou à droite sur toutes les sections non-poinçonnées précédentes et sont notées H^g et H^d pour la section de base :

- $H^g : (*, *, x_0, x_1) \rightarrow (*, *, b_2, b_3)$
- $H^d : (x_0, x_1, *, *) \rightarrow (b_0, b_1, *, *)$

Les bits poinçonnés (enlevés) sont indiqués par des étoiles *. On note H_a^g et H_a^d avec $a \in \{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \phi\}$ les autres sections dérivées et poinçonnées écrites précédemment.

La figure 3 présente un exemple de treillis cyclique utilisant de telles sections, et correspondant au code de paramètres $C[16,12,2]$. Il est composé de la séquence $(H^g, H, H^g, H^d, H, H^d)$ sur lequel on a fait correspondre les 12 bits d'informations X_i , ($i=0,1,\dots,11$) et les 4 bits de redondance R_j ($j=0,1,\dots,3$) du code de paramètres $C[16,12,2]$.

La figure 4 ci-dessous montre un exemple d'utilisation (triple) du treillis de la figure 3, et donc du code $C[16,12,2]$ précédent par la mise en parallèle de 3 treillis recevant chacun les 12 bits d'information placés au centre de l'étoile.

Le bloc R représente le code à répétition triple du vecteur d'information de 12 bits.

Les permutations dans ce cas particulier sont très simples : il s'agit de la permutation identité notée Id correspondant à la séquence $(X_5, X_9, X_4, X_{11}, X_6, X_8, X_{10}, X_0, X_1, X_2, X_3, X_7)$, et des permutations

décalage cyclique respectivement de 4 bits et 8 bits notées D_4 et D_8 délivrant des séquences décalées circulairement de 4 places et 8 places par rapport à la séquence de l'identité.

5 Les « turbo-codes » pouvant être construits avec de tels séquences et de tels treillis composants sont très divers : « turbo-codes » série, « turbo-codes » parallèle, « turbo-codes » hybrides série-parallèle, codes « Repeat-Accumulate » ,...

c) Description du codage de ces « turbo-codes »

10 Les données d'entrée pour effectuer le codage sur l'exemple de la figure 2 sont les bits d'information $(x_0, x_1, \dots, x_{15})$ à partir desquels on calcule les bits de redondance $(y_0, y_1, \dots, y_{15})$ et $(z_0, z_1, \dots, z_{15})$. Les bits d'information placés dans ce cas au milieu de la structure sont entrés dans l'ordre naturel sur l'un des treillis et permutés dans l'autre.

15 Comme il y a peu (4, 8, ou 16) d'états de départ pour chaque treillis cyclique, une façon simple de coder est de choisir arbitrairement une section comme section de départ et de calculer et mémoriser les bits de redondance y et l'état d'arrivée (s_2, s_3) pour les bits d'étiquettes x et pour chaque état de départ possible (s_0, s_1) .

20 Par exemple, pour chacun des 4 états de départ $\{00, 01, 10, 11\}$ et les 2 bits d'information (x_0, x_1) de la section de départ, on calcule (on lit) l'état suivant en se servant de la section de treillis comme d'une table logique.

25 On recommence pour la section suivante jusqu'à retourner à l'entrée de la section de départ puisque le treillis est cyclique (« tail-biting » en anglais) : un mot de code est un circuit simple constitué d'une branche dans chaque section du treillis et ayant donc le même état de départ et d'arrivée.

On ne garde donc que le résultat de codage qui a son état d'arrivée égal à son état de départ. Le résultat du codage est l'ensemble des bits d'information et de redondance, que l'on peut choisir de transmettre ou non selon un éventuel poinçonnage avant émission.

30 On peut bien sûr, avec l'algorithme décrit précédemment, calculer une

fois pour toute la matrice génératrice du code et l'utiliser pour faire le codage par multiplication vecteur-matrice, mais cela sera plus coûteux en quantité de calcul.

d) Description du décodage itératif de ces « turbo-codes »

5 Le décodage « soft » itératif peut s'appuyer sur celui, maintenant classique, des « turbo-codes ». A partir des informations a priori disponibles sur les bits d'information et de redondance à la réception en sortie du démodulateur.

10 Ces bits sont représentés par des points noirs dans le graphe de Tanner comme celui de la figure 2. Sur chaque treillis, on calcule les probabilités a posteriori à partir des probabilités a priori disponibles selon l'algorithme BCJR, ou une de ses variantes, avec des métriques (SISO, SOVA, SUBMAP...), pour en extraire des informations dites « extrinsèques », que l'on injectent dans le ou les autres treillis. On itère ce processus jusqu'à stabilité ou un nombre fixe d'itérations.

15 Les figures 5a à 5e présentent quelques courbes de taux d'erreurs binaires (TEB en fonction du rapport signal/bruit utile E_b/N_0) résultant de cet algorithme, pour quelques codes de longueurs et de rendement 1/2 et 1/3 simulés sur canal gaussien et modulation de phase à 2 états « MDP2 ».

20 La figure 6 est une courbe de comparaison en terme de TEB de codes de longueur 400 codant 200 bits d'informations utiles selon l'art antérieur avec des treillis à 16 états (ou une complexité équivalente) et de premiers résultats (non encore optimisés) d'un code selon l'invention pour ces longueurs.

25 Pour une complexité environ 2 fois moindre, on constate que l'on a déjà des performances comparables, sans optimiser les permutations et les structures.

30 Les courbes notées respectivement CT(3,1) et TC(21,37) correspondent respectivement aux « turbo-codes » antérieurs de Li-Ping construits avec 3 codes en arbre et aux « turbo-codes » de Berrou avec treillis

binaires à 16 états.

On constate que les « turbo-codes » à 4 états construits selon l'invention deviennent meilleurs pour des E_b/N_0 nettement supérieurs à 3.5dB (en dehors de la courbe).

5 Ces nouveaux « turbo-codes » n'ont pourtant pas encore été optimisés selon leurs permutations et leurs structures alors que ceux de l'art antérieur l'ont été longuement.

Dans l'exemple présenté, la structure des nouveaux treillis utilisée est en effet non optimisée et invariante, car composée uniquement de sections H_α . Une diversité de types de sections dans chaque treillis permettra d'augmenter les capacités de correction et donc d'améliorer les courbes de TEB.

3) Sections de base à 16 états pour turbo-codes sur Z_4

La section « N » de treillis de base « sur Z_4 » décrit l'ensemble des mots du code ayant ses symboles pris dans l'anneau des entiers modulo 4, $Z_4 = \{0,1,2,3\}$, équivalent au code de Nordstrom-Robinson de paramètres $N[8,4,6]$ ayant pour matrice génératrice G_N telle que :

$$G_N = [I_4 \quad P_N] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 1 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 2 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

20 Les 4 symboles $\{0,1,2,3\}$ de Z_4 correspondent au mapping de Gray sur 2 bits suivant :

$$0 \leftrightarrow \{0,0\}, 1 \leftrightarrow \{0,1\}, 2 \leftrightarrow \{1,1\}, 3 \leftrightarrow \{1,0\},$$

La section N, illustrée de façon simplifiée sur la figure 7 par son graphe de Tanner, représente l'ensemble des mots de code du code de $N[8,4,6]$ par un ensemble de chemins des états de départ (s_0, s_1) vers les états d'arrivée (s_2, s_3) en passant par les branches d'étiquettes (b_0, b_1, b_2, b_3) . Les vecteurs d'état et d'étiquettes sont reliés par l'équation matricielle :

$$(s_0, s_1, s_2, s_3) = (b_0, b_1, b_2, b_3) \cdot P_N.$$

Le code de $N[8,4,6]$ partitionné en 4 paquets de 2 symboles sur Z_4 , (s_0, s_1) , (s_2, s_3) , (b_0, b_1) et (b_2, b_3) , a la distribution de paquets de 2 symboles « allumés » suivante :

- 1 mot avec 0 paquet sur 4 allumé (le mot nul),
- 5 • 60 mots avec 3 paquets sur 4 allumés soit environ 23% des mots du code,
- 195 mots avec 4 paquets sur 4 allumés soit environ 76% des mots du code.

10 On remarque que la propriété « au moins 3 sur 4 » est encore plus accentuée avec le code $N[8,4,6]$ sur Z_4 par rapport au code binaire de Hamming[8,4,4] . Il est donc tout à fait intéressant d'utiliser des treillis construits avec cette section de base à 16 états car les 2 symboles d'état sur Z_4 sont codés avec 2 bits chacun.

15 On peut utiliser les mêmes motifs de poinçonnage et d'ordonnancement des symboles sur les étiquettes du bloc de base pour obtenir toutes les sections dérivées comme pour les sections dérivées de la section H présentées précédemment.

4) Sections de base à 64 états pour turbo-codes sur Z_8

20 La section « M » de treillis de base « sur Z_8 » décrit l'ensemble des mots du code ayant ses symboles pris dans l'anneau des entiers modulo 8, $Z_8 = \{0, 1, \dots, 7\}$, ayant pour matrice génératrice G_M telle que :

$$G_M = [I_4 \quad P_M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 7 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 4 & 1 & 5 & 7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 7 & 4 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 7 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

25 Les symboles $\{0, 1, \dots, 7\}$ de Z_8 correspondent au codage binaire classique des entiers sur 3 bits :

$0 \leftrightarrow \{0, 0, 0\}$, $1 \leftrightarrow \{0, 0, 1\}$, $2 \leftrightarrow \{0, 1, 0\}$, $3 \leftrightarrow \{0, 1, 1\}$, $4 \leftrightarrow \{1, 0, 0\}$, $5 \leftrightarrow \{1, 0, 1\}$,
 $6 \leftrightarrow \{1, 1, 0\}$, $7 \leftrightarrow \{1, 1, 1\}$,



La section M, illustrée de façon simplifiée sur la figure 8 par son graphe de Tanner, représente l'ensemble des mots de code du code de M[8,4] par un ensemble de chemins des états de départ (s_0, s_1) vers les états d'arrivée (s_2, s_3) en passant par les branches d'étiquettes (b_0, b_1, b_2, b_3) . Les

5 vecteurs d'état et d'étiquettes sont reliés par l'équation matricielle:

$$(s_0, s_1, s_2, s_3) = (b_0, b_1, b_2, b_3) \cdot P_M.$$

Le code de M[8,4] partitionné en 4 paquets de 2 symboles sur $Z_8, (s_0, s_1), (s_2, s_3), (b_0, b_1)$ et (b_2, b_3) , a la distribution de paquets de 2 symboles « allumés » suivante :

- 10
- 1 mot avec 0 paquet sur 4 allumé (le mot nul),
 - 252 mots avec 3 paquets sur 4 allumés soit environ 6% des mots du code,
 - 3443 mots avec 4 paquets sur 4 allumés soit environ 94% des mots du code.

15 On remarque que la propriété « au moins 3 sur 4 » est encore plus accentuée avec ce code M[8,4] sur Z_8 par rapport au code quaternaire N[8,4,6] et le code binaire de Hamming[8,4,4].

On peut bien sûr trouver d'autres codes [8,4] qui ont cette même propriété « au moins 3 sur 4 » qui est essentielle lors de la concaténation des

20 étages de treillis et l'utilisation de ces treillis pour construire efficacement de plus grands codes.

Il est donc tout à fait intéressant d'utiliser des treillis construits avec cette section de base à 64 états car les 2 symboles d'état sur Z_8 sont codés avec 3 bits chacun.

25 On pourra utiliser les mêmes motifs de poinçonnage et d'ordonnancement des symboles sur les étiquettes du bloc de base pour obtenir toutes les sections dérivées comme les sections dérivées des sections N et H présentées précédemment.

REVENDICATIONS

1. Procédé de codage correcteur d'erreur, caractérisé en ce qu'on utilise au moins deux sections distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3), en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3), définissant un mot de code, deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.
2. Procédé de codage selon la revendication 1, caractérisé en ce que les mots de code dudit code élémentaire ont subi un partitionnement en quatre paquets (s_0, s_1), (s_2, s_3), (b_0, b_1), (b_2, b_3) tel que chaque mot de code, à l'exception du mot de code nul, comprend au moins trois paquets sur quatre allumés, un paquet étant dit allumé lorsqu'il comprend au moins un bit valant 1.
3. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdites sections de code élémentaire sont associées en séquence de façon à former au moins un treillis de codage.
4. Procédé de codage selon la revendication 3, caractérisé en ce que le ou lesdits treillis sont cycliques.
5. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce qu'il comprend deux treillis, dans lesquels les données source à coder sont entrées dans des ordres différents.
6. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce qu'on conserve comme résultat de codage celui qui présente un état d'arrivée identique à son état d'arrivée, parmi tous les états de départ possible pour l'une desdites sections de code élémentaire, choisie comme section de départ.
7. Procédé de codage selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit résultat de codage est l'ensemble des éléments d'information et de redondance délivrés par le ou lesdits treillis.
8. Procédé de codage selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'on

applique un poinçonnage sur lesdits éléments formant le résultat de codage.

9. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'au moins une desdites sections est poinçonnée.

10. Procédé de codage selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on utilise
5 au moins une section poinçonnée à gauche et au moins une section poinçonnée à droite.

11. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 3 à 10, caractérisé en ce qu'on duplique au moins une fois le ou lesdits treillis, pour
10 disposer d'au moins deux ensembles de codage interconnectés via des moyens de permutation.

12. Procédé de codage selon la revendication 11, caractérisé en ce que les données à coder sont transmises à chacun desdits ensembles de codage de façon décalée.

13. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits vecteurs sont constitués d'éléments binaires.
15

14. Procédé de codage selon la revendication 13, caractérisé en ce que ledit code élémentaire est un code de Hamming [8, 4, 4].

15. Procédé de codage selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il met en œuvre les sections suivantes :

- 20
- $H_\alpha : (y_0, y_1, x_0, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\beta : (x_0, x_1, y_0, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\gamma : (x_0, y_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\delta : (y_0, x_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - $H_\epsilon : (y_0, x_0, y_1, x_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$
 - 25 • $H_\phi : (x_0, y_0, x_1, y_1) \rightarrow (b_0, b_1, b_2, b_3)$

16. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 14 et 15 et la revendication 10, caractérisé en ce qu'il met en œuvre les sections poinçonnées suivantes :

- 30
- $H^s : (*, *, x_0, x_1) \rightarrow (*, *, b_2, b_3)$
 - $H^d : (x_0, x_1, *, *) \rightarrow (b_0, b_1, *, *)$

17. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications des 14 à 16 et la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend trois ensembles de codage recevant chacun 12 bits de codage via respectivement une permutation identité, une permutation à décalage cyclique de 4 bits et une permutation à décalage cyclique de 4 bits.
18. Procédé de codage selon la revendication 17, caractérisé en ce que lesdits ensembles de codage sont organisés de façon à produire un code de Golay [24, 12, 8].
19. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits vecteurs sont constitués de mots de base pouvant prendre 4 valeurs.
20. Procédé de codage selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit code élémentaire est un code de Nordstrom-Robinson de paramètres [8, 4, 6].
21. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits vecteurs sont constitués de mots de base pouvant prendre 8 valeurs.
22. Procédé de codage selon la revendication 21, caractérisé en ce que ledit code élémentaire est un code $M[8, 4]$.
23. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, caractérisé en ce qu'il est du type « turbo-code ».
24. Dispositif de codage correcteur d'erreur, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux modules de codage correspondant à au moins deux sections distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3) , en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3) , deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.
25. Procédé de décodage de données codées selon le procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'on utilise au moins deux sections distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un



vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3), en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3),
deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.

5 **26.** Procédé de décodage selon la revendication 25, caractérisé en ce qu'il est itératif.

27. Procédé de décodage selon la revendication 26, caractérisé en ce que, à chacune des itérations, on calcule des probabilités a posteriori sur des métriques associés à au moins un treillis défini à l'aide desdites sections de code
10 élémentaire, et en ce qu'on interrompt lesdites itérations lorsqu'on obtient un résultat stable et/ou après un nombre prédéterminé d'itérations.

28. Dispositif de décodage de données codées à l'aide du procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux modules de décodage correspondant à au moins deux sections
15 distinctes d'un code élémentaire prédéterminé, associant à un vecteur d'état de départ (s_0, s_1) un vecteur d'arrivée (s_2, s_3), en fonction d'un vecteur d'étiquettes de branches (b_0, b_1, b_2, b_3),
deux sections dudit code élémentaire étant distinctes lorsque l'ordre et/ou le rôle des éléments dudit vecteur d'étiquettes de branches sont modifiées.

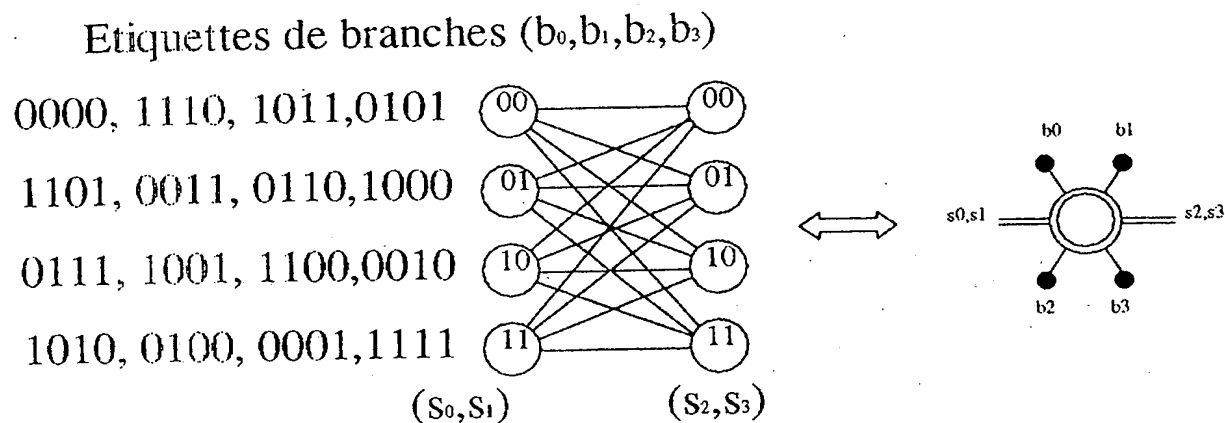


Figure 1

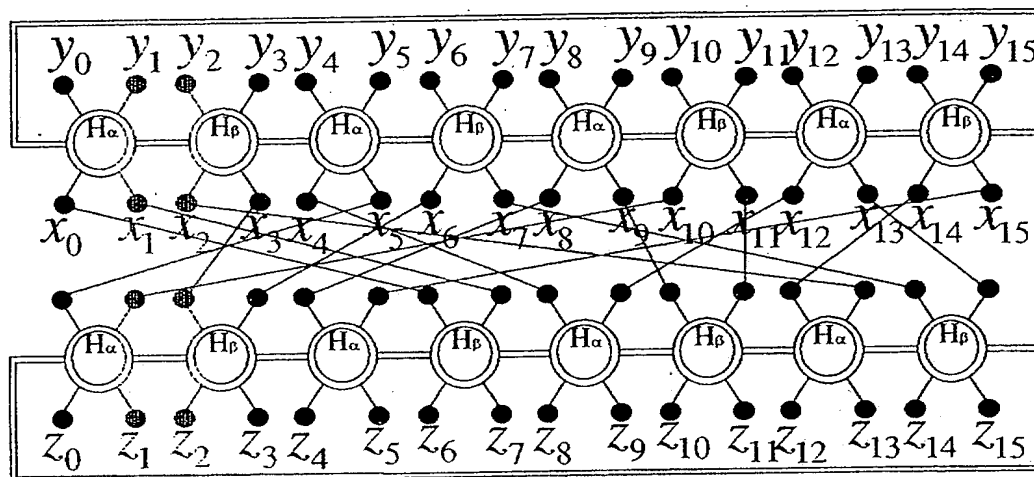


Figure 2

1/6

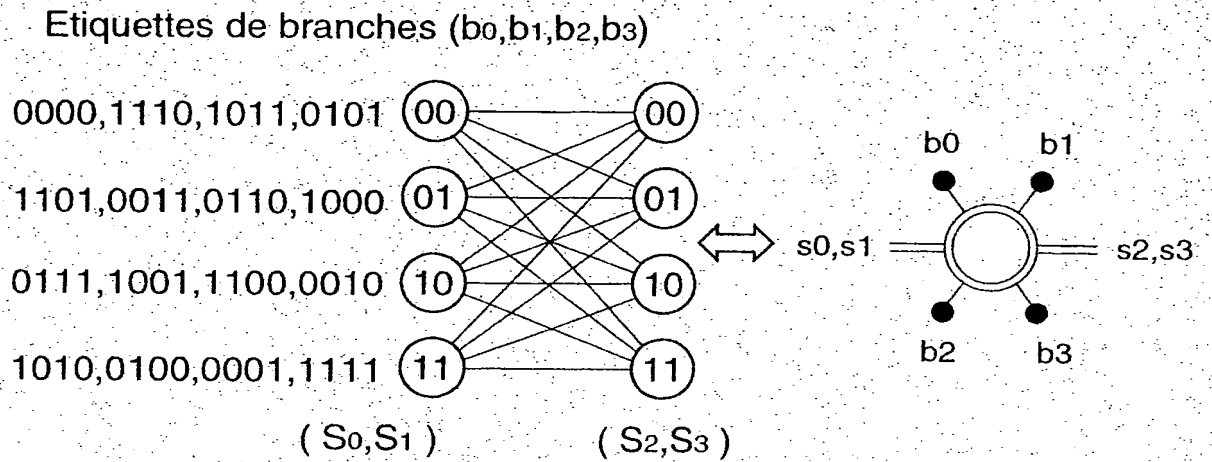


Fig. 1

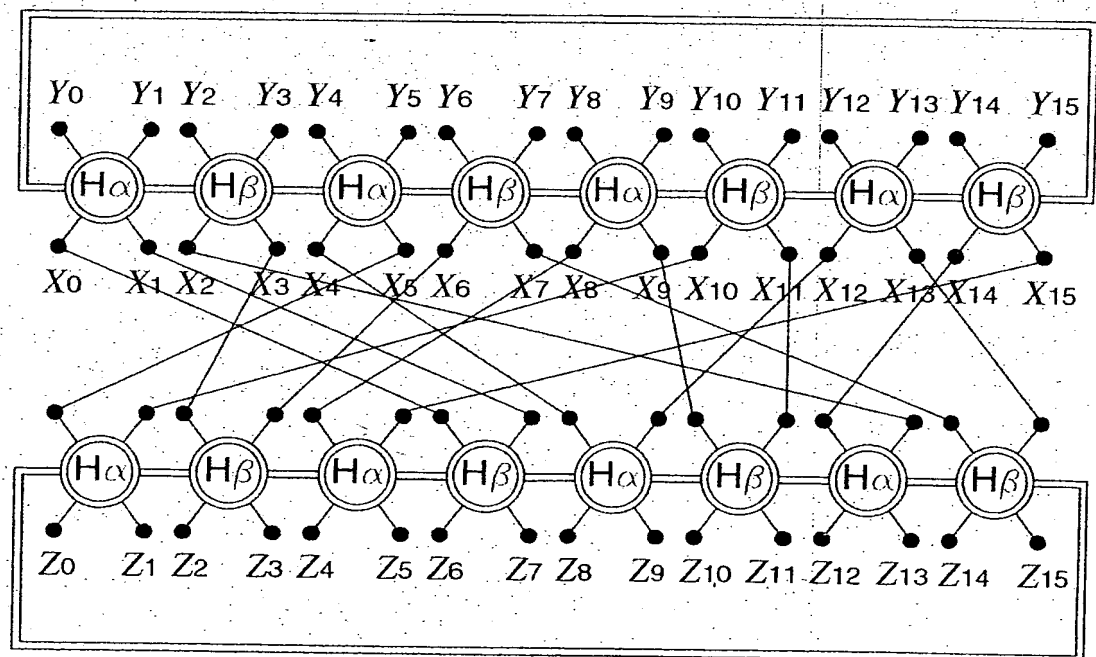


Fig. 2

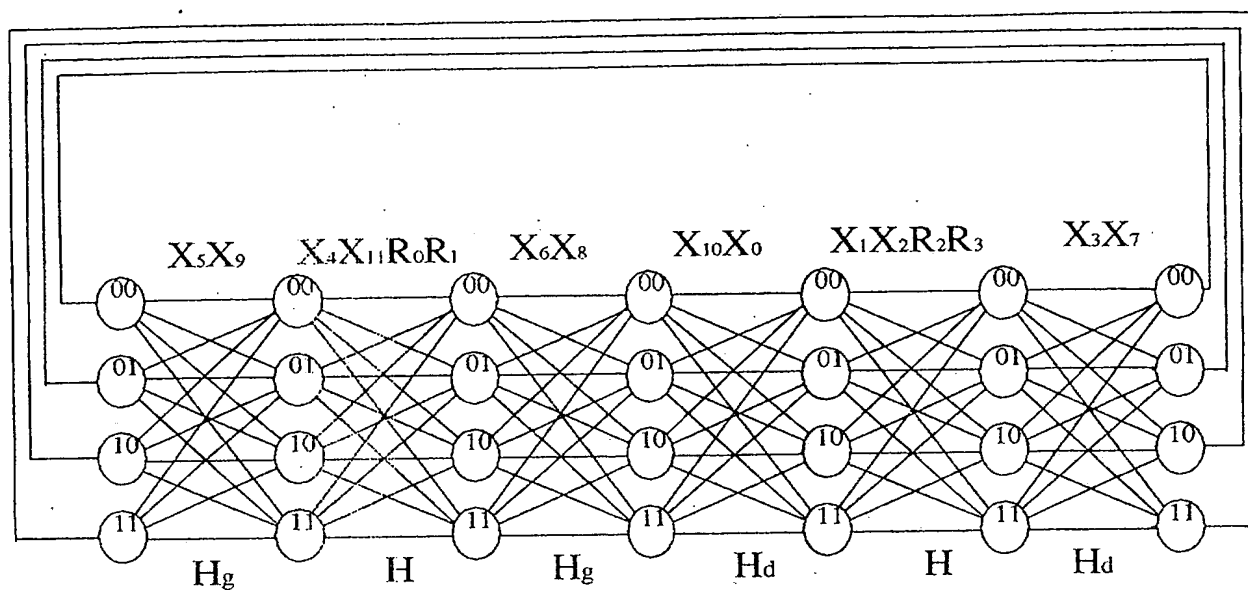


Figure 3

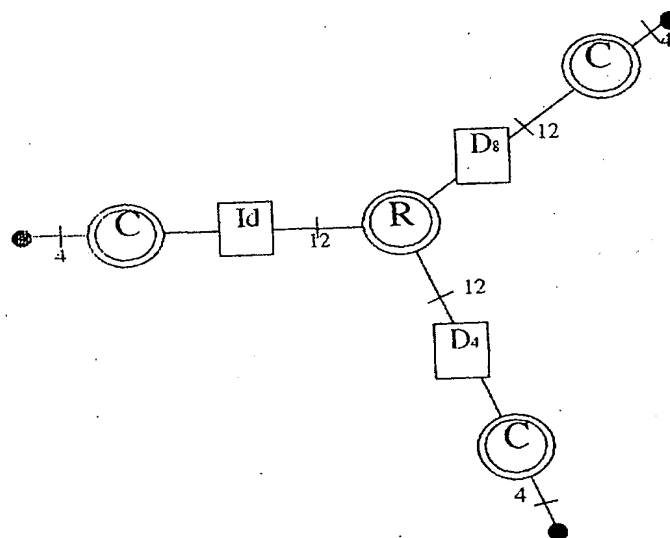


Figure 4



2/6

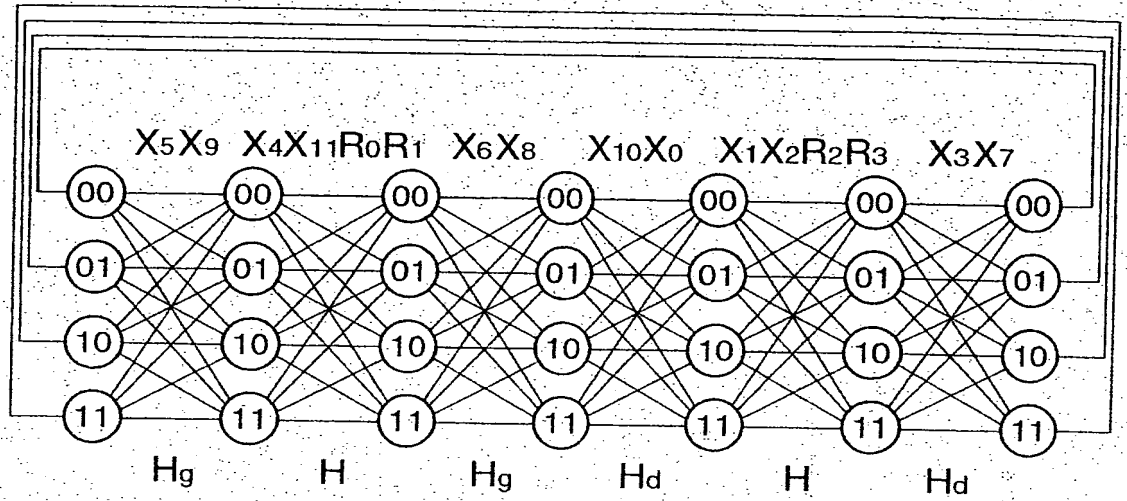


Fig. 3

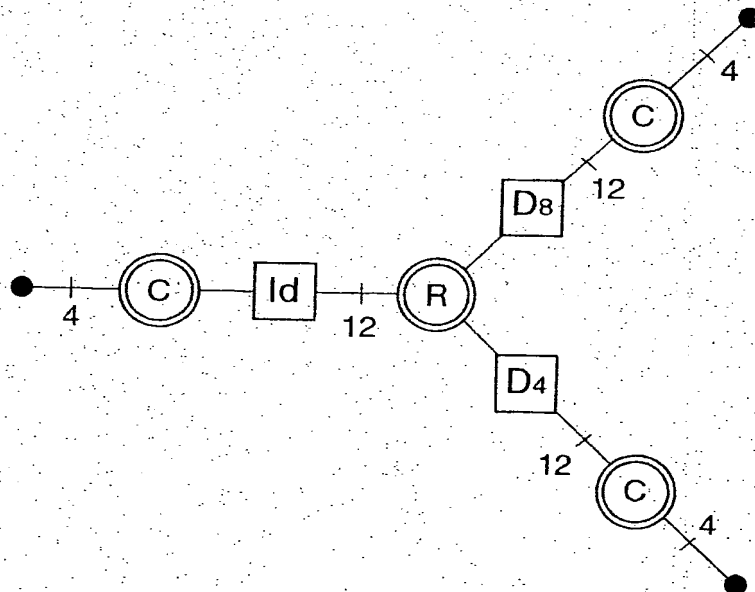


Fig. 4

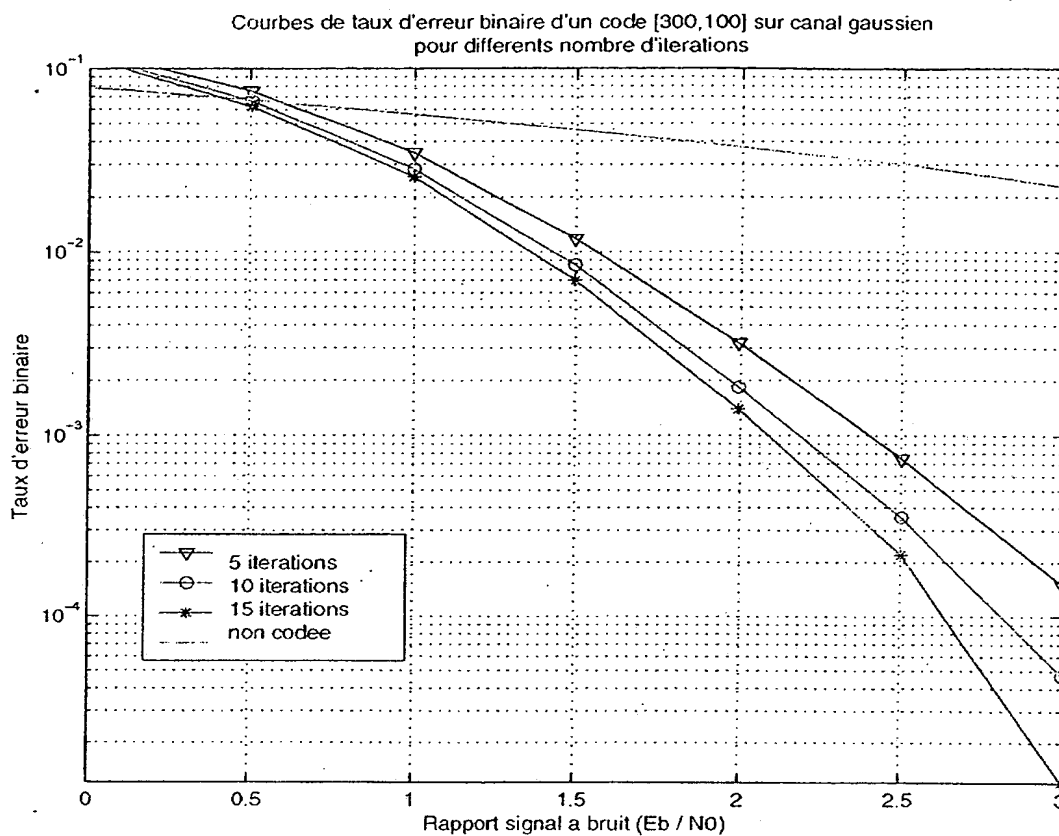


Figure 5a

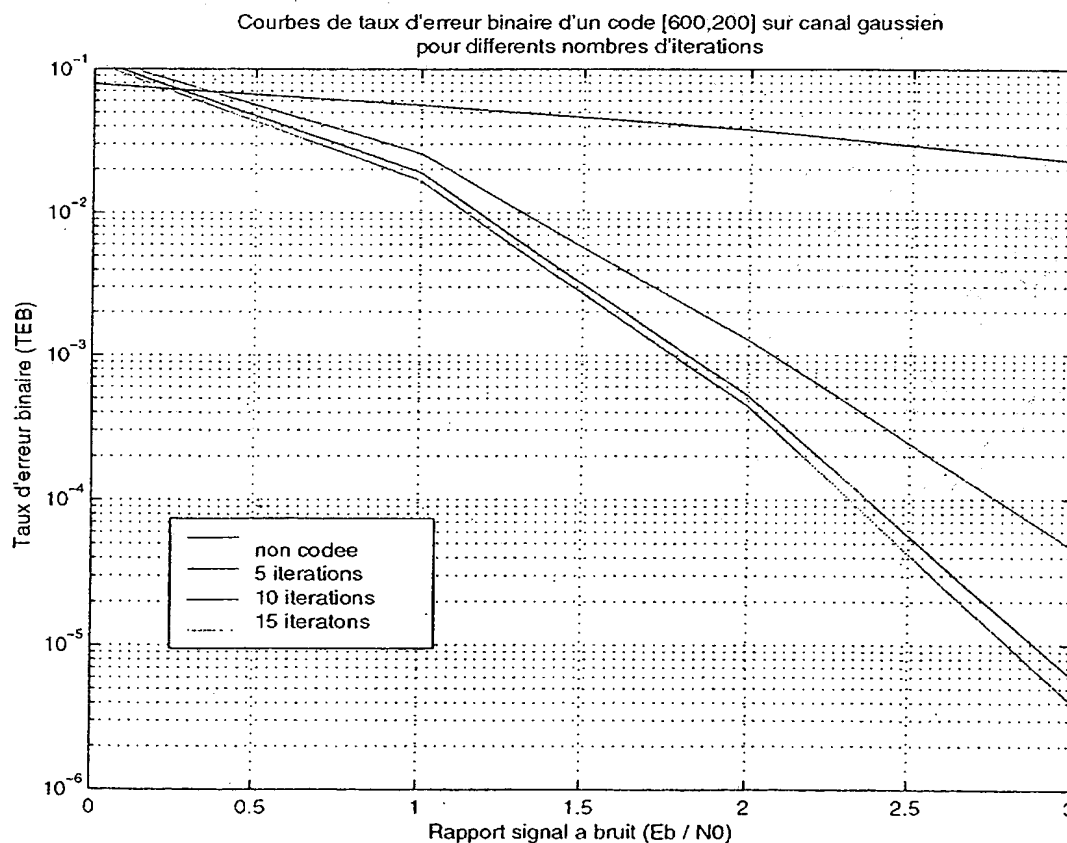


Figure 5b

3/6

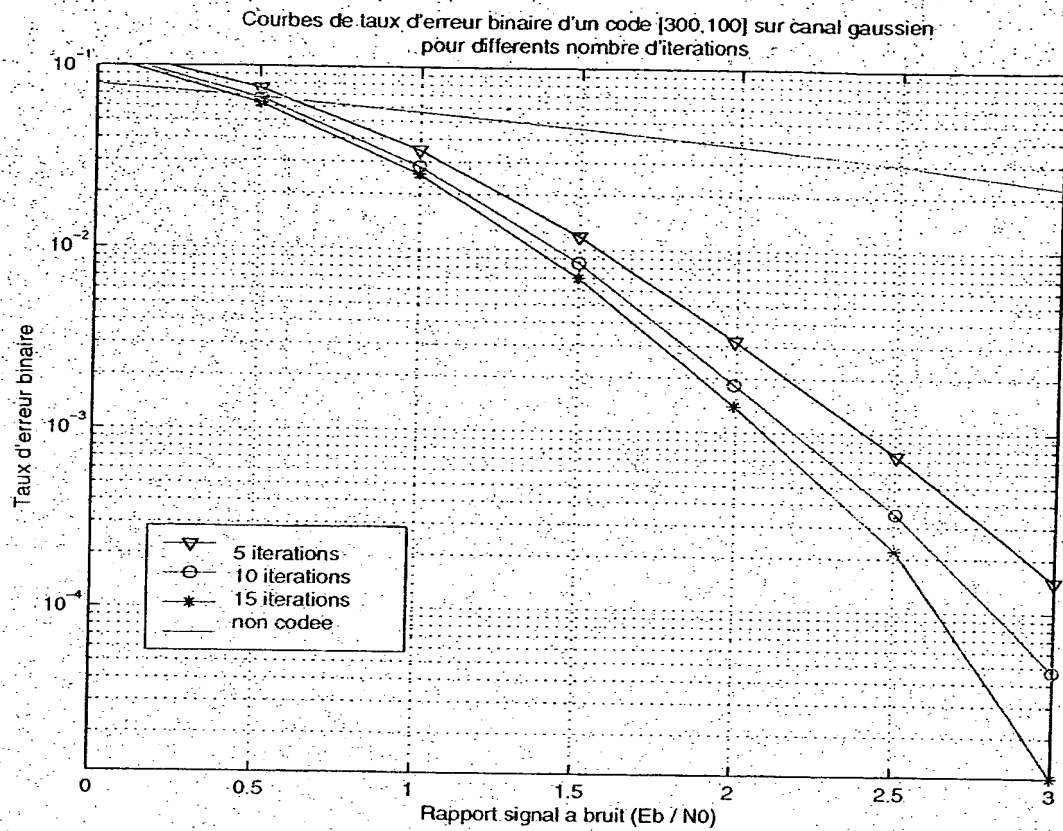
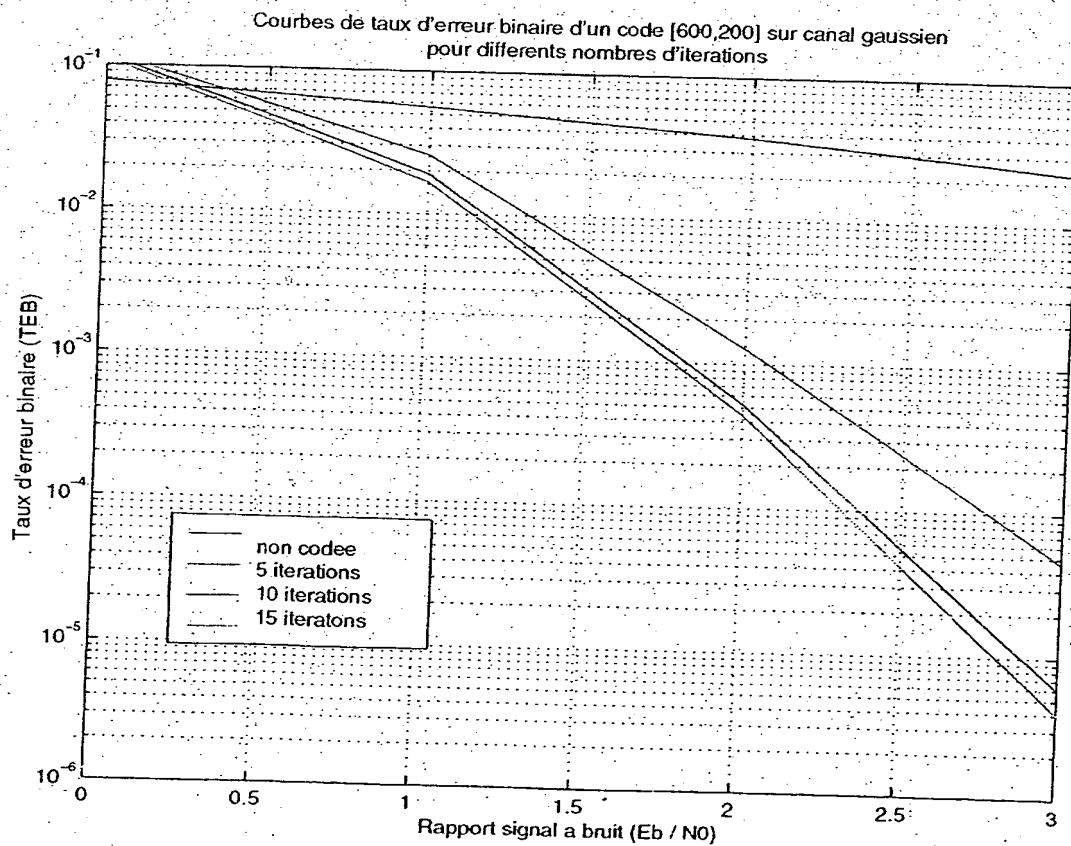


Fig. 5a



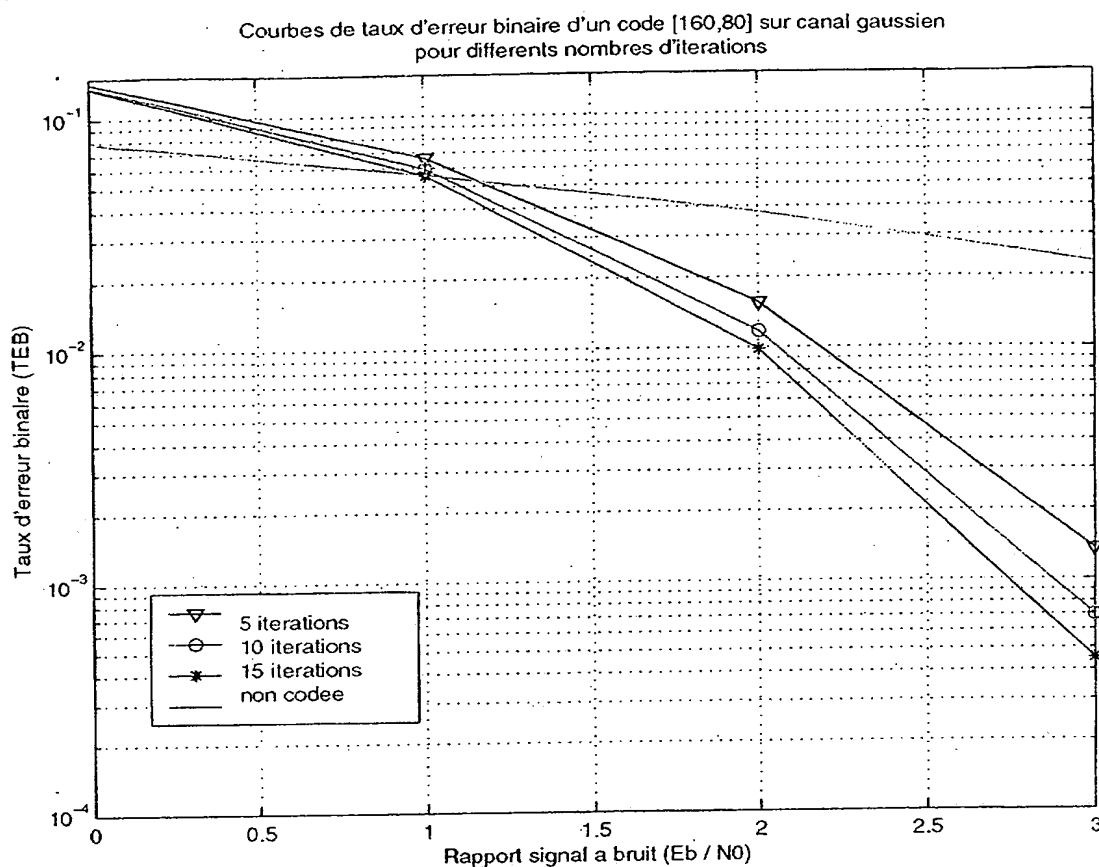


Figure 5c

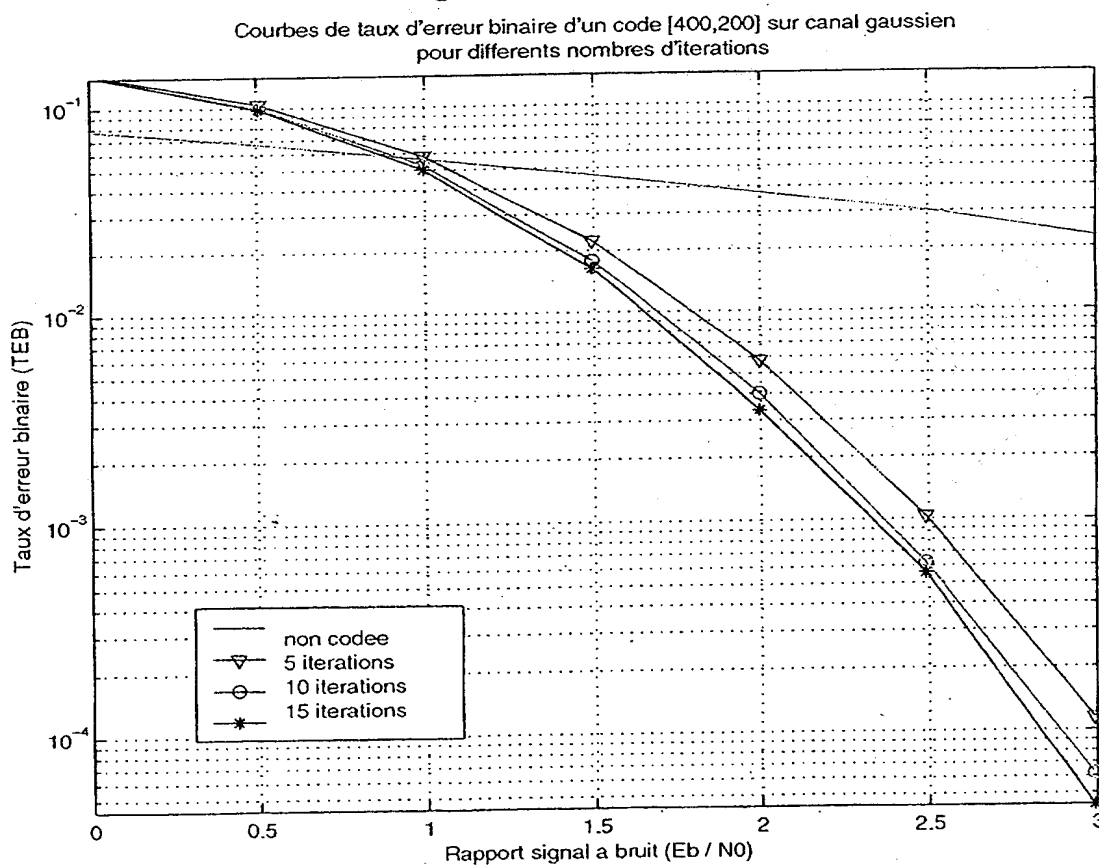


Figure 5d

4/6

Courbes de taux d'erreur binaire d'un code [160,80] sur canal gaussien pour différents nombres d'itérations

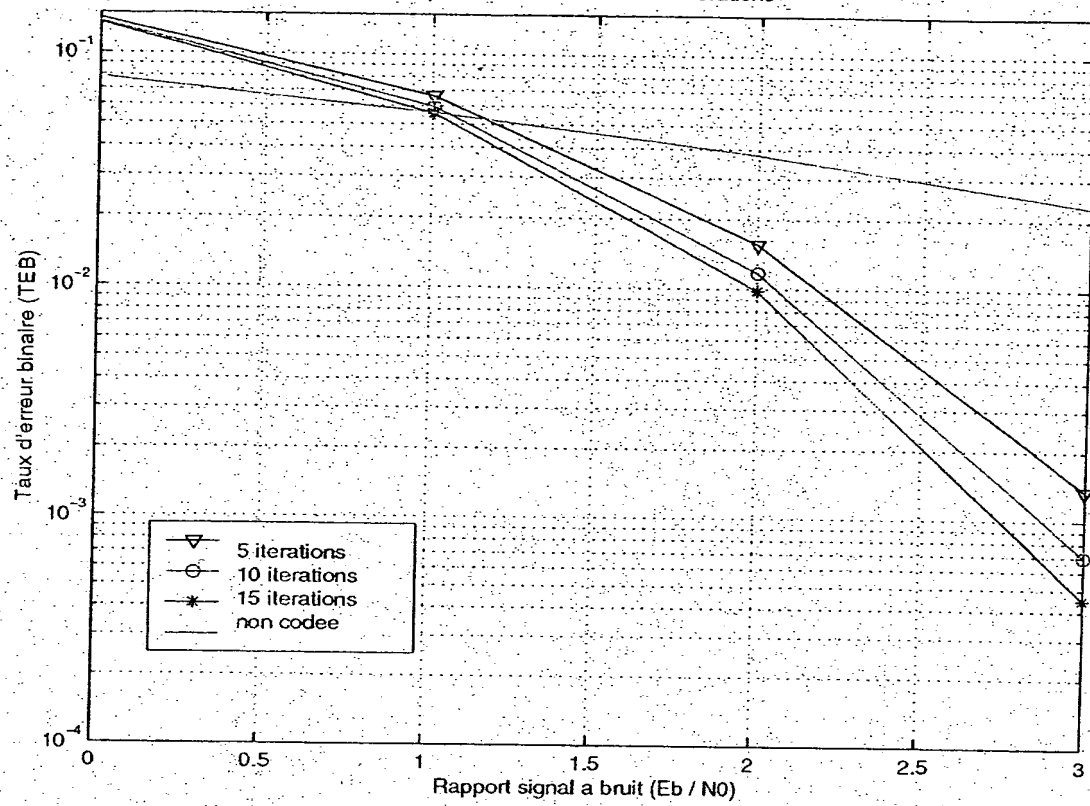
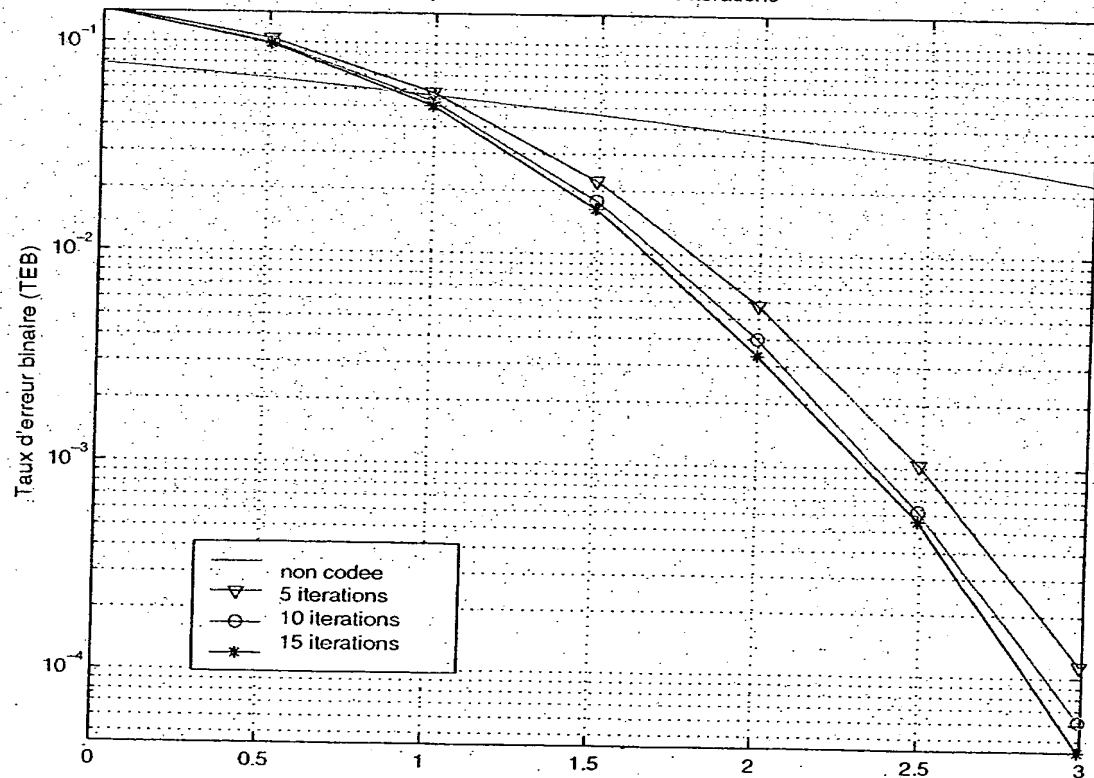


Fig. 5c

Courbes de taux d'erreur binaire d'un code [400,200] sur canal gaussien pour différents nombres d'itérations



Courbes de decodage d'un code [400,200] sous forme CT(3,1) et TC(21,37) pour 18 iterations
et sous forme de concatenation de treillis a 4 etats pour 15 iterations (canal gaussien)

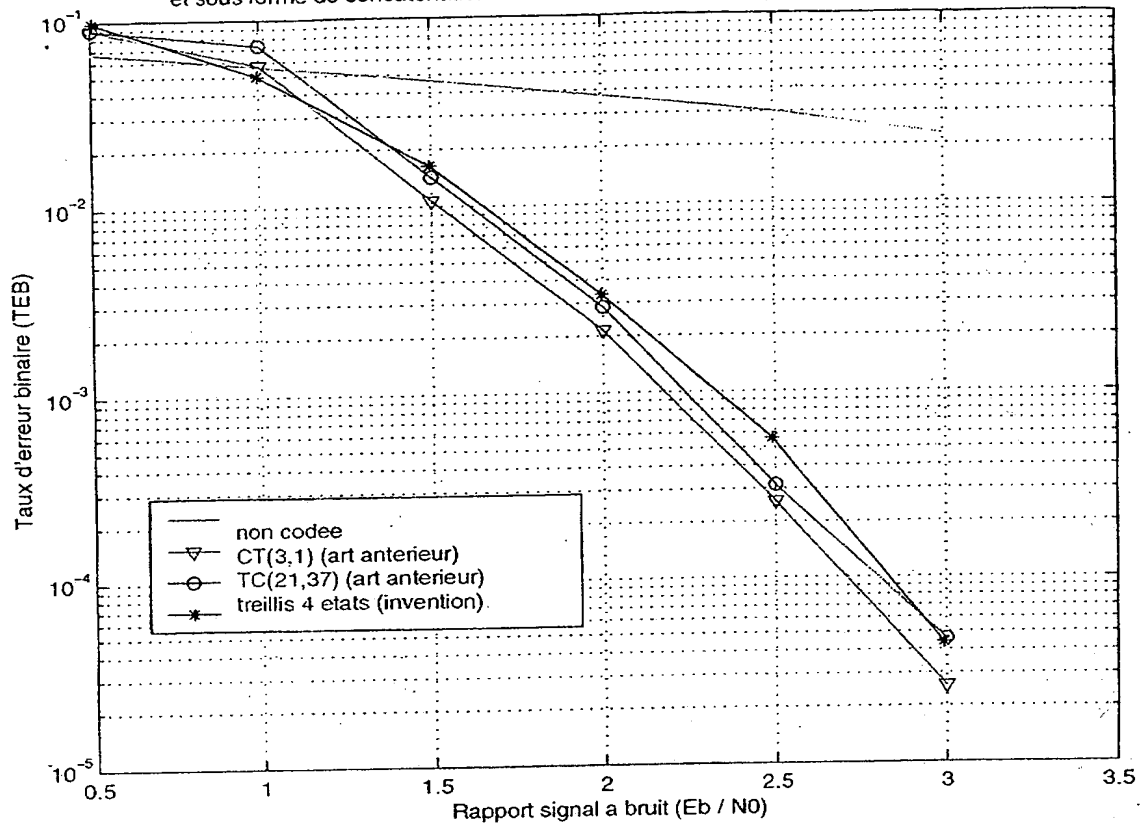


Figure 5e

Courbes de taux d'erreur binaire d'un code [2960,1480] sur canal gaussien
pour differents nombres d'iterations

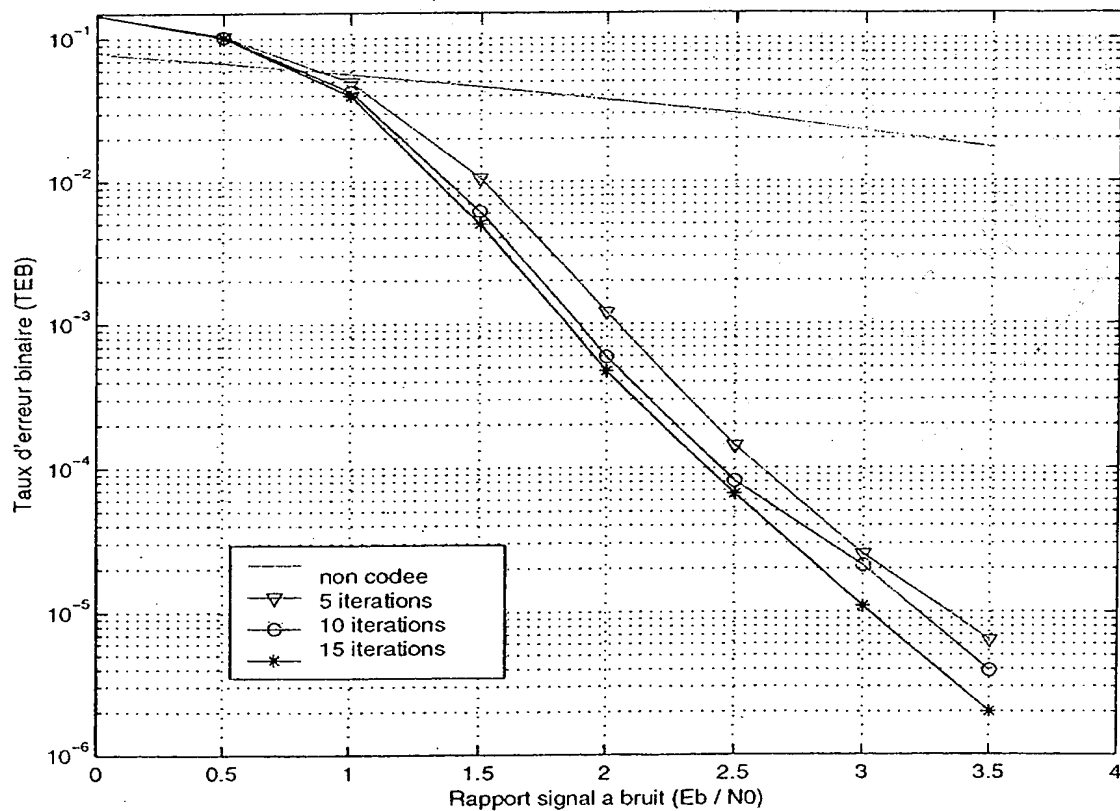


Figure 6

5/6

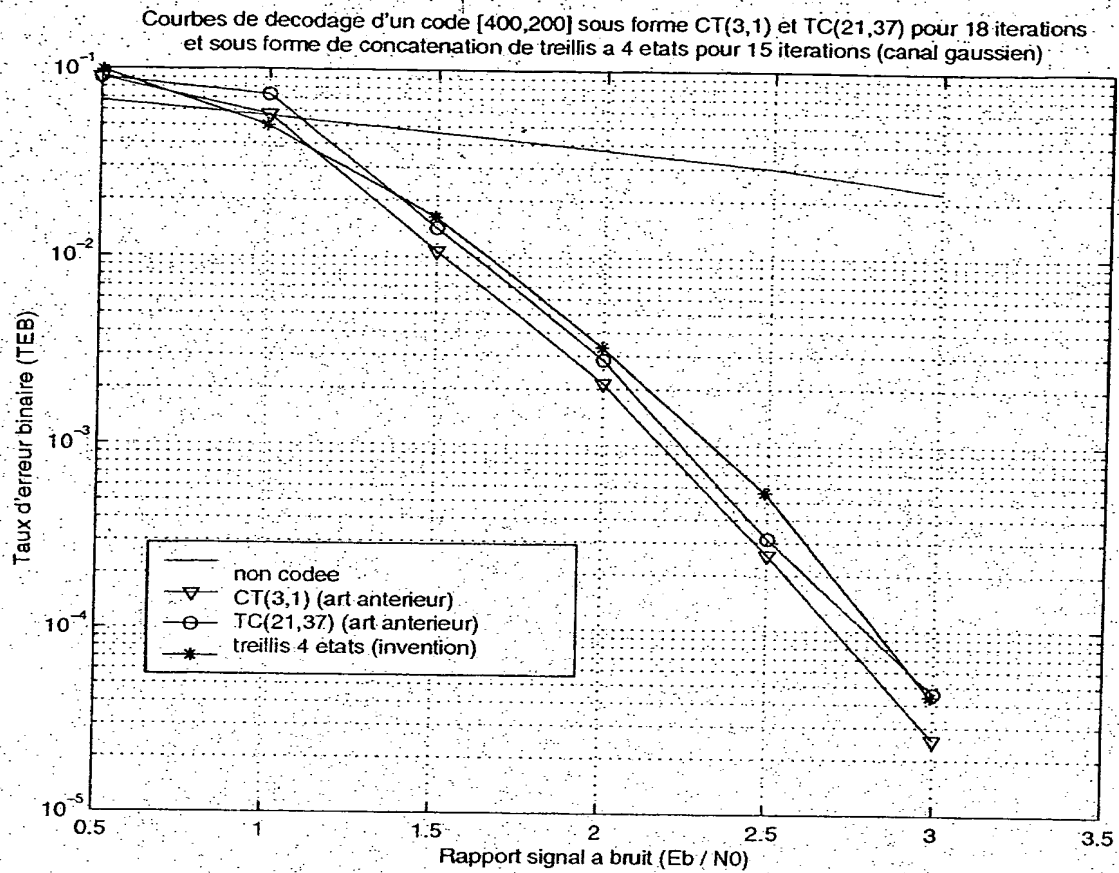
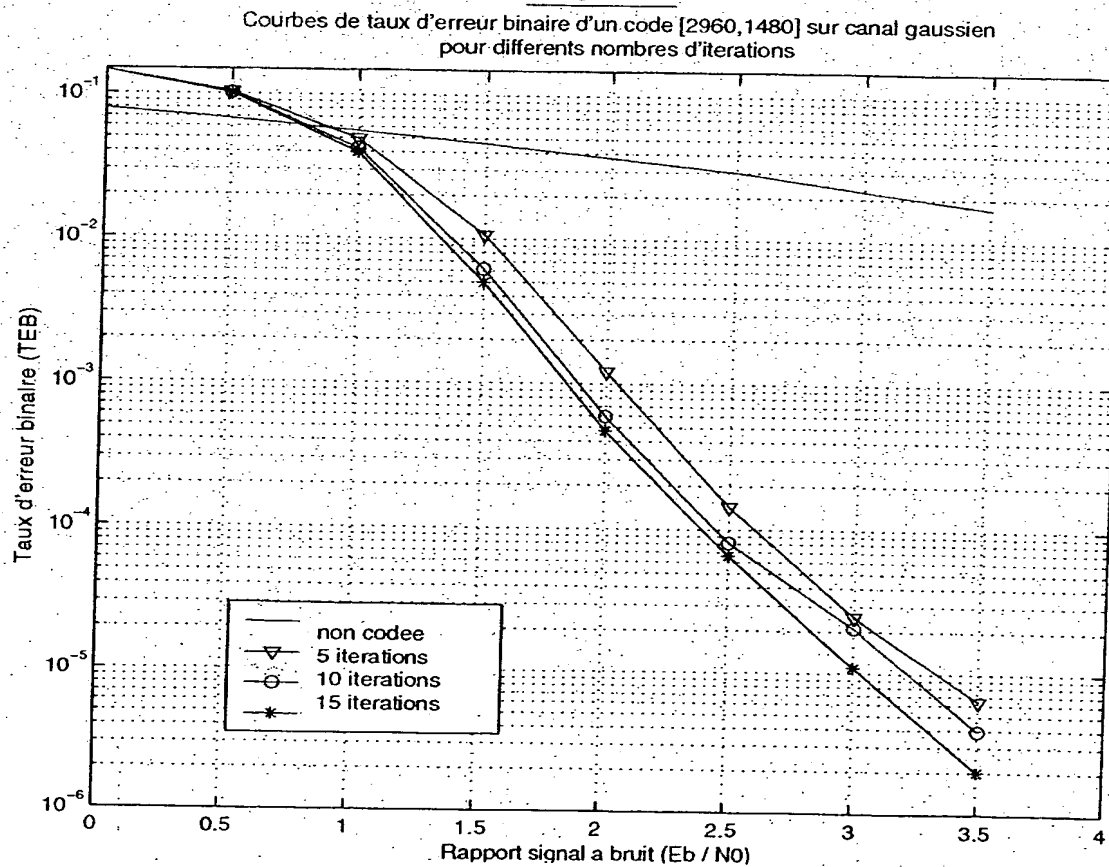


Fig. 5e



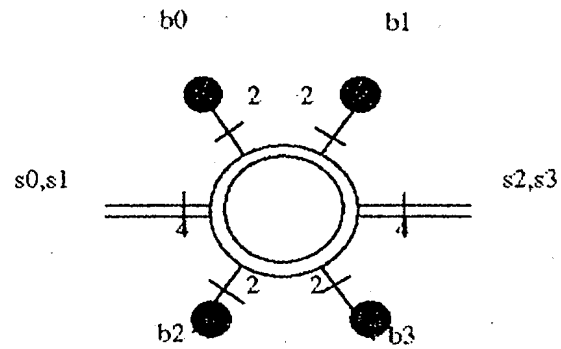


Figure 7

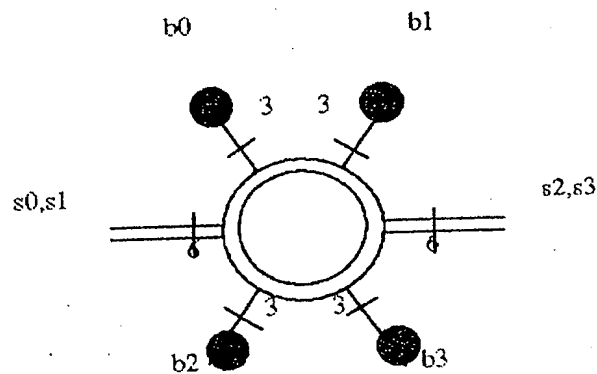


Figure 8

6/6

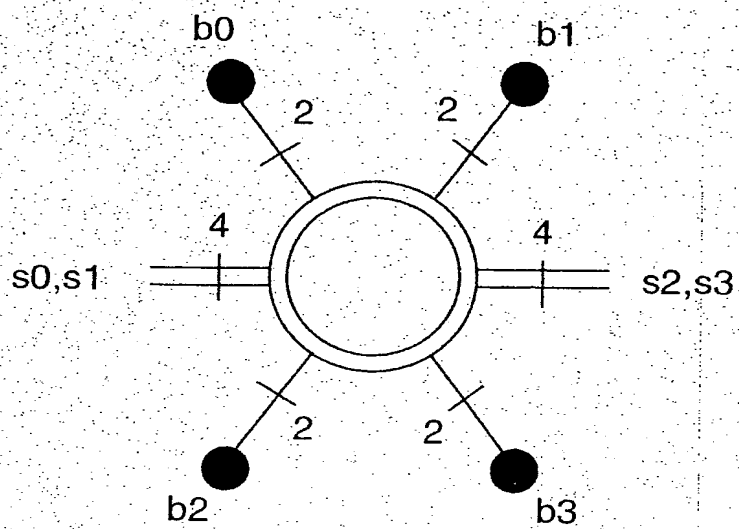


Fig. 7

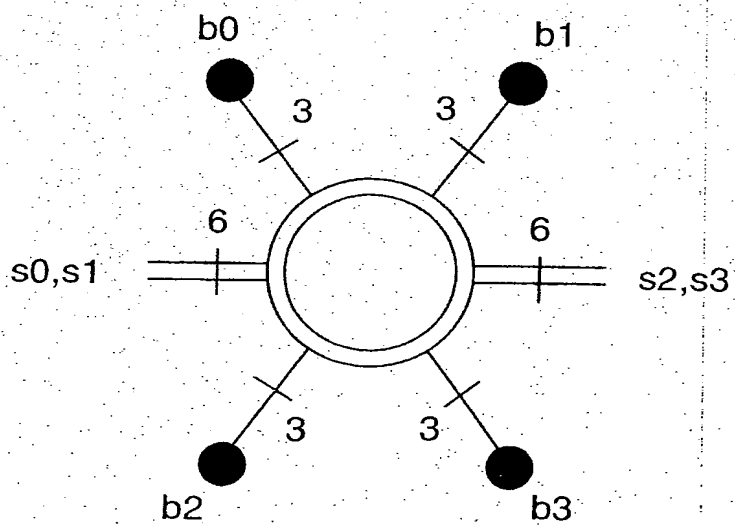


Fig. 8



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et
les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

INV

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 © W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)		8817
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		03 03 989
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé de codage correcteur d'erreur utilisant au moins deux fois un même code élémentaire, procédé de codage, dispositifs de codage et de décodage correspondant.		
LE(S) DEMANDEUR(S) : FRANCE TELECOM 6 Place d'Alleray 75015 PARIS FRANCE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1 Nom		CADIC
Prénoms		Emmanuel
Adresse	Rue	3, rue François Menez
	Code postal et ville	3 5 0 0 0 RENNES
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		CARLAC'H
Prénoms		Jean-Claude
Adresse	Rue	19, route des Champs Rôtis, La Lande du Breil
	Code postal et ville	3 5 0 0 0 RENNES
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		
Le 31 mars 2003, P. VIDON (Mandataire CPI n° 93 1250)		

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

REPLY TO THIS PAGE

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)